



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 103 13 604 A 1**

⑤1 Int. Cl.7:  
**H 02 P 7/00**

②1 Aktenzeichen: 103 13 604.5  
②2 Anmeldetag: 26. 3. 2003  
④3 Offenlegungstag: 9. 10. 2003

DE 103 13 604 A 1

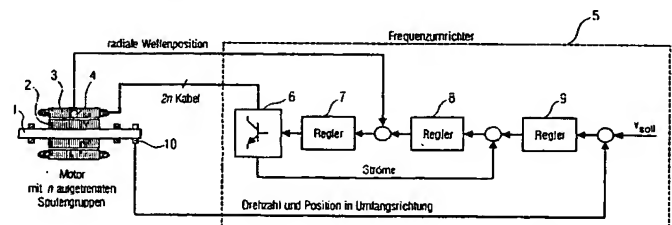
⑥6 Innere Priorität:  
102 13 531. 2 26. 03. 2002  
⑦1 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:  
Gebert, Karl, Dr., 97340 Marktbreit, DE; Thaler,  
Wolfgang, 88299 Leutkirch, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zur Bedämpfung von Wellenschwingungen

⑤7 Die Wellenschwingungen insbesondere von Motorspindeln sollen bedämpft werden. Hierzu wird der auf die Welle (1) montierte Elektromotor derart angesteuert, dass die mechanischen Schwingungen beim Lauf reduziert werden. Beispielsweise ist es möglich, die Spulengruppen des Stators (3) aufzutrennen und separat durch einen Frequenzumrichter (5) anzusteuern. Dieser verwendet für seine Regelung insbesondere ein von einem Sensor (4) gewonnenes Signal über die radiale Wellenposition sowie die von einem Drehgeber (10) gewonnene Drehzahl- und Positionsinformation der Spindel (1) in Umfangsrichtung.



DE 103 13 604 A 1

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Maschine mit einer Welle, einem Elektromotor, dessen Läufer auf die Welle montiert ist, und einer Ansteuerschaltung, mit der der Elektromotor ansteuerbar ist. Darüber hinaus betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Bedämpfung von Schwingungen der Welle, auf die der Läufer des Elektromotors montiert ist.

[0002] Werkzeugmaschinen-spindeln neigen, abhängig von der Drehzahl, der Leistungserbringung und dem Bearbeitungsprozess, zu selbsterregten und fremderregten Schwingungen. Diese Schwingungen wirken sich negativ auf die Oberflächenqualität der Werkstücke aus. Außerdem kann die maximal mögliche Leistung der Werkzeugmaschinen-spindeln hierdurch nicht in Bearbeitungsleistung umgesetzt werden.

[0003] Die mechanischen Schwingungen der Welle werden durch mechanische und/oder elektrische Einflüsse auf das Werkzeug oder die Spindel beziehungsweise Welle hervorgerufen. Üblicherweise werden diese Schwingungen in Spindelsystemen mechanisch bedämpft.

[0004] Der Frequenzbereich zu bedämpfender Wellenschwingungen kann unterschiedlich sein. Die Wellenschwingungen liegen bei konventionellen Motorspindeln für Fräszentren und Schleifmaschinen in der Regel zwischen 600 und 800 Hz. Bei schnelldrehenden Systemen ( $> 20\,000\text{ min}^{-1}$ ) können Frequenzen von über 1000 Hz auftreten. Die Schwingungen liegen im Bereich der Eigenfrequenzen der Spindel und/oder des Werkzeuges.

[0005] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, die Dämpfung von Schwingungen einer Welle zu verbessern.

[0006] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch eine Maschine mit einer Welle, einem Elektromotor, dessen Läufer auf die Welle montiert ist, und einer Ansteuerschaltung, mit der der Elektromotor ansteuerbar ist, wobei der Elektromotor durch die Ansteuerschaltung derart ansteuerbar ist, dass mechanische Schwingungen der Welle beim Lauf reduziert werden.

[0007] Ferner ist erfindungsgemäß vorgesehen ein Verfahren zur Bedämpfung von Schwingungen einer Welle, auf die der Läufer eines Elektromotors montiert ist, durch Ansteuern des Elektromotors derart, dass die auf den Läufer ausgeübten magnetischen Kräfte den elektrisch und/oder mechanisch verursachten Schwingungen der Welle entgegenwirken.

[0008] Der vorliegenden Erfindung liegt der Gedanke zu Grunde, die mechanischen Schwingungen elektrisch zu bedämpfen. Hierzu ist die Form der Schwingungen genau zu analysieren.

[0009] Bei konventionellen Spindelsystemen ist der Motor beidseitig durch Lager abgestützt. Die Schwingungsknoten liegen bei Standardanwendungen im Bereich der Lagerstellen, während sich der Schwingungsbauch der Grundschwingung an der Stelle des Elektromotors befindet.

[0010] Ferner ist für die Bedämpfung der Aufbau der Elektromotoren zu berücksichtigen.

[0011] Drehfeldmotoren in Form von Asynchronmotoren (Kurzschlussläufermotoren) und permanentmagnetregten Synchronmotoren mit einer Polzahl größer vier besitzen in den Statormuten verteilt Wicklungen, die aus mehreren Spulengruppen bestehen. So hat z. B. ein 4-poliger Motor mit einer gesehnten Wicklung pro Phase vier Spulengruppen, die um jeweils  $90^\circ$  am Umfang des Stators verteilt angeordnet sind. Normalerweise werden die einzelnen Spulengruppen, die zu einer Phase gehören, zusammengefasst und mit Strom beaufschlagt. Trennt man die einzelnen Spulengrup-

pen auf und bestromt diese unabhängig voneinander, so kann man eine variable, radiale Kraftkomponente am Rotor erzeugen. Durch eine gezielte Steuerung der Stromeinprägung ist es möglich, Schwingungen der Welle durch den Rotor zu bedämpfen.

[0012] Durch die Dämpfung der Welle bzw. Spindel auf die erfindungsgemäße Art und Weise ergeben sich folgende Vorteile:

- die Schwingungsbelastungen der Lager können reduziert werden,
- die Zerspanleistung einer Werkzeugmaschine kann gesteigert werden,
- die Lebensdauer der Motorspindel lässt sich erhöhen und
- es können Werkstücke mit verbesserter Form- und Oberflächengenauigkeit hergestellt werden.

[0013] Um die Erzeugung von variablen Radialkräften auf den Rotor beziehungsweise die tragende Welle mit Hilfe des Stators des Elektromotors zu verbessern, kann zwischen dem Rotor und dem Stator ein Abstandsmesser angeordnet sein, um Schwankungen der radialen Wellenposition zu messen. Ein entsprechendes Messergebnis wird an die Ansteuerschaltung des Motors geliefert, wodurch eine Regelschleife realisierbar ist.

[0014] Darüber hinaus kann an der Welle ein Drehzahl-sensor angeordnet werden, um die Drehzahl und Position der Welle in Umfangsrichtung an die Ansteuerschaltung zu liefern. Auch hierdurch kann die Regelung zum Betrieb des Elektromotors verfeinert werden.

[0015] Als Elektromotor können Asynchron- beziehungsweise Synchronmotoren verwendet werden, die sich in der erfindungsgemäßen Weise bestromen lassen. Zur Bestromung der einzelnen Spulengruppen wird vorzugsweise in der Ansteuerschaltung ein Frequenzumrichter verwendet. Mit ihm lassen sich eine oder mehrere Schwingungen und gegebenenfalls deren Harmonische wirksam bedämpfen.

[0016] Die vorliegende Erfindung wird nun anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert, in denen zeigen:

[0017] Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Ansteuerschaltung eines Elektromotors zur Dämpfung einer Motorwelle; und [0018] Fig. 2 einen Schnitt durch eine erfindungsgemäße Motorspindel.

[0019] Die nachfolgend näher beschriebenen Ausführungsbeispiele stellen bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung dar.

[0020] In Fig. 1 ist eine Spindel 1 als einfache Welle symbolisiert, die von einem aufgeschraubten Rotor 2 eines Elektromotors angetrieben wird. Ein Stator 3 umgibt den Rotor 2. Zwischen Rotor 2 und Stator 3 ist ein Sensor 4 angeordnet, der die radiale Wellenposition abgreift.

[0021] Der Stator 3 ist in n Spulengruppen aufgeteilt. Jede Spulengruppe wird jeweils über zwei Kabel mit einem Frequenzumrichter 5 angesteuert.

[0022] Der Frequenzumrichter 5 besitzt eine Treiberschaltung 6, mit der die n verschiedenen Spulengruppen mit entsprechenden Ansteuerströmen versorgt werden. Die Treiberschaltung 6 ist in eine Regelungsschaltung bestehend aus mehreren hintereinander geschalteten Reglereinheiten 7, 8 und 9 integriert. Ein Sollsignal für die Drehgeschwindigkeit  $v_{\text{soll}}$  der Spindel 1 dient als Führungssignal für die Regelungsschaltung.

[0023] Die durch den Sensor 4 gewonnene radiale Wellenposition wird als Regelgröße dem ersten Regler 7 im Frequenzumrichter 5 zugeführt. Damit können die n Spulengruppen derart angesteuert werden, dass die Wellenschwingungen minimiert werden.

[0024] Das Eingangssignal des ersten Reglers 7 besteht aus einer Kombination, insbesondere Addition bzw. Subtraktion des Wellenpositionssignals und des Ausgangssignals des zweiten Reglers 8. Als Regelgröße sind an den zweiten Regler 8 Stromsignale der Treiberschaltung 6 rückgekoppelt. Das Eingangssignal des zweiten Reglers 8 besteht damit aus einer Kombination der Stromsignale und eines Ausgangssignals des dritten Reglers 9.

[0025] Als Führungsgröße erhält der dritte Regler 9 ein Geschwindigkeitssollwertsignal  $v_{\text{voll}}$ . Davon subtrahiert wird ein Drehzahlbeziehungsweise Positionssignal, das von einem Geber 10 stammt, der die Spindel 1 in Umfangsrichtung abgreift.

[0026] Mit Hilfe eines derartig gestalteten Frequenzumrichters 5 lassen sich geeignete Pulsmuster erzeugen, damit der Elektromotor so angesteuert werden kann, dass Wellenschwingungen größtenteils verhindert werden können. Die Bedämpfung von Wellenschwingungen mit Hilfe des Elektromotors hat Vorteile insbesondere bei Werkzeugmaschinen und vor allem bei Spindeln.

[0027] In Fig. 2 ist eine Motorspindel einer Werkzeugmaschine im Schnitt dargestellt. Die Welle beziehungsweise Spindel 1 ist durch ein Spindellager 11 in einem Gehäuse 12 drehbar gelagert. Der Rotor 2 ist auf die Spindel 1 geschlupft und wird von dem Stator 3 mit aufgetrennten Spulengruppen angetrieben. Der Sensor zu Abgreifen der radialen Wellenposition ist in dieser Darstellung nicht sichtbar. Der Drehgeber 10 zum Abgreifen der Drehzahl und Position der Spindel 1 in Umfangsrichtung ist am Ende der Spindel 1 angeordnet.

[0028] Im Zentrum weist die Spindel 1 eine Bohrung auf, in der ein Werkzeugspanner 13 geführt wird. Dieser dient zur Betätigung einer Werkzeugschnittstelle 14 am Spindelkopf und wird von einem Pneumatikzylinder an der der Werkzeugschnittstelle 14 gegenüberliegenden Stirnseite der Spindel 1 angetrieben.

[0029] Durch die erfindungsgemäße Ansteuerung des Elektromotors können radiale Schwingungen der Spindel 1 größtenteils verhindert werden.

um die Drehzahl und Position der Welle (1) in Umfangsrichtung an die Ansteuerschaltung zu liefern.

7. Verfahren zur Bedämpfung von Schwingungen einer Welle (1), auf die der Rotor (2) eines Elektromotors montiert ist, gekennzeichnet durch Ansteuern des Elektromotors derart, dass die auf den Rotor (2) ausgeübten magnetischen Kräfte den elektrisch und/oder mechanisch verursachten Schwingungen der Welle (1) entgegenwirken.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei der Elektromotor mehrere Spulengruppen besitzt, die einzeln angesteuert werden.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, wobei radiale magnetische Kräfte auf den Rotor des Elektromotors, der sich an einem Schwingungsbauch der Welle befindet, ausgeübt werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei Schwankungen der radialen Wellenposition gemessen und zur Ansteuerung des Elektromotors herangezogen werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, wobei die Drehzahl und Position der Welle in Umfangsrichtung gemessen und zur Ansteuerung des Elektromotors herangezogen werden.

12. Ansteuerschaltung mit einer Regelelektronik zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 7 bis 11.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

#### Patentansprüche

1. Maschine mit einer Welle (1), einem Elektromotor, dessen Rotor (2) auf die Welle (1) montiert ist, und einer Ansteuerschaltung (5), mit der der Elektromotor ansteuerbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Elektromotor durch die Ansteuerschaltung (5) derart ansteuerbar ist, dass mechanische Schwingungen der Welle beim Lauf reduziert werden.
2. Maschine nach Anspruch 1, wobei der Stator des Elektromotors mehrere Spulengruppen besitzt, die einzeln ansteuerbar sind.
3. Maschine nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Welle (1) als Werkzeugspindel ausgestaltet ist.
4. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Elektromotor im Wesentlichen mittig zwischen zwei Lagern der Welle (1) angeordnet ist.
5. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei zwischen dem Rotor (2) und Stator (3) des Elektromotors ein Abstandsmesser (4) angeordnet ist, um Schwankungen der radialen Wellenposition zu messen, und das Messergebnis der Ansteuerschaltung zuzuliefern.
6. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei an der Welle ein Drehzahlsensor (10) angeordnet ist,

- Leerseite -

FIG 1

